

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

AB

(11)Publication number : 2001-203415

(43)Date of publication of application : 27.07.2001

(51)Int.Cl. H01S 3/10  
G02B 5/18  
H01S 3/06

(21)Application number : 2000-011159

(71)Applicant : KDDI CORP  
KDD SUBMARINE CABLE SYSTEMS INC

(22)Date of filing : 20.01.2000

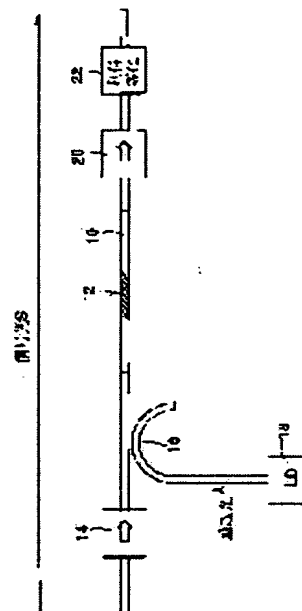
(72)Inventor : USAMI MASASHI

## (54) OPTICAL AMPLIFIER

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an optical amplifier which has a flat gain characteristic in 1.54–1.56  $\mu\text{m}$  band and has a high exciting efficiency.

**SOLUTION:** A grating 12, having a transmission loss peak at 1.53  $\mu\text{m}$ , is formed in the middle of an erbium-doped fiber(EDF) 10. The wave normal of the periodic refractive index variation of the grating 12 is inclined from the propagating direction of light in the EDF 10. A semiconductor laser 18 outputs exciting light having a wavelength of 0.98  $\mu\text{m}$ , and the exciting light is multiplexed with signal light S to be amplified optically by means of a WDM optical coupler 16 and made incident to the EDF 10, together with the signal light S. The optically amplified signal light S passes through an optical isolator 20 with a low or without losses and is made incident to a gain equalization filter 22. The filter 22 has a transmission spectrum of opposite characteristics to the combined gain spectrum of the EDF 10 and grating 12 and makes the final gain spectrum flat in the signal wavelength band of 1.54–1.56  $\mu\text{m}$ .



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-203415  
(P2001-203415A)

(43) 公開日 平成13年7月27日 (2001.7.27)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 S 3/10		H 0 1 S 3/10	Z 2 H 0 4 9
G 0 2 B 5/18		G 0 2 B 5/18	5 F 0 7 2
H 0 1 S 3/06		H 0 1 S 3/06	B

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願2000-11159(P2000-11159)

(22) 出願日 平成12年1月20日 (2000.1.20)

(71) 出願人 000208891

ケイディーディーアイ株式会社  
東京都新宿区西新宿二丁目3番2号

(71) 出願人 595162345

ケイディディ海底ケーブルシステム株式会社  
東京都新宿区西新宿3丁目7番1号

(72) 発明者 宇佐見 正士

埼玉県上福岡市大原二丁目1番15号株式会社  
ケイディディ研究所内

(74) 代理人 100090284

弁理士 田中 常雄

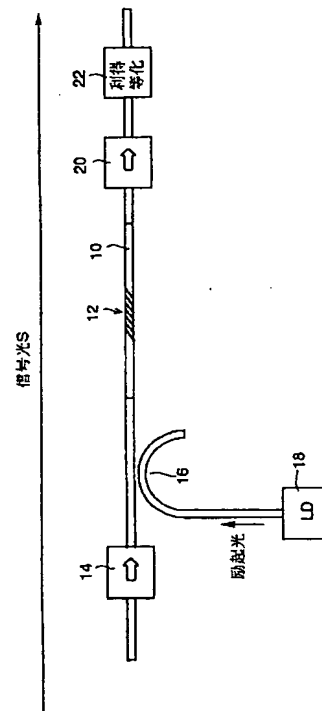
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光増幅器

(57) 【要約】

【課題】 1. 54-1.56  $\mu\text{m}$  帯で平坦な利得特性を有し、且つ励起効率の高い光増幅器を実現する。

【解決手段】 エルビウムドープファイバ (EDF) 10 の中間に、1.53  $\mu\text{m}$  に透過ロスのパークを持つグレーティング 12 を形成する。グレーティング 12 の、周期的な屈折率変化の波面法線は EDF 10 内での光伝搬方向に対して傾斜する。半導体レーザ 18 は波長 0.98  $\mu\text{m}$  の励起光を出力し、その励起光は、WDM 光カップラ 16 により、光増幅すべき信号光 S に合波され、信号光 S と共に EDF 10 に入射する。光増幅された信号光 S は、光アイソレータ 20 を低損失又は無損失で透過し、利得等化フィルタ 22 に入射する。利得等化フィルタ 22 は、EDF 10 及びグレーティング 12 の合成利得スペクトルとは逆の特性の透過スペクトルを有し、信号波長帯 1.54-1.56  $\mu\text{m}$  で最終的な利得スペクトルを平坦化する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光増幅媒体と、

当該光増幅媒体の少なくとも一部に形成され、周期的に屈折率の変化するグレーティングと、

当該光増幅媒体を励起する励起光を発生する励起光源と、

当該励起光源の出力する励起光を当該光増幅媒体に導入する励起光導入手段とを具備することを特徴とする光増幅器。

【請求項 2】 当該グレーティングの透過損失波長帯は、当該光増幅媒体から発生される自然放出光の所定波長帯を含む請求項 1 に記載の光増幅器。

【請求項 3】 当該グレーティングが、当該光増幅媒体の増幅信号帯域において、当該光増幅媒体の利得の波長依存性を相殺する透過損失特性を具備する請求項 1 又は 2 に記載の光増幅器。

【請求項 4】 当該グレーティングが短周期グレーティングからなり、その周期的な屈折率変化の波面法線が当該光増幅媒体の光伝搬方向に対して傾斜する請求項 1 に記載の光増幅器。

【請求項 5】 当該グレーティングが当該光増幅媒体の軸方向で屈折率変動周期が変化するチャープグレーティングからなる請求項 1 に記載の光増幅器。

【請求項 6】 当該グレーティングが長周期グレーティングからなる請求項 1 に記載の光増幅器。

【請求項 7】 当該光増幅媒体がコアとクラッドを有し、当該グレーティングが、当該光増幅媒体の当該コア及び当該クラッドにまたがって形成されている請求項 1 に記載の光増幅器。

【請求項 8】 当該光増幅媒体が希土類添加光ファイバからなる請求項 1 乃至 6 の何れか 1 項に記載の光増幅器。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光増幅器に関し、より具体的には、光ファイバ伝送システム、光ネットワークシステム及び光交換システム等で用いられる光増幅器に関する。

【0002】

【従来の技術】一般に、希土類添加ファイバを光増幅媒体とする光ファイバ増幅器は、利得スペクトルが平坦でなく、波長依存性を有する。伝送容量の増大に対応できる波長分割多重 (WDM) 伝送では、この利得特性波長依存性が、信号パワー及び信号対雑音比 (光 SNR) が波長ごとに異なる要因となる。特に、多段増幅の場合に、利得ピーク波長から離れた波長では、セルフフィルタリング効果により光 SNR が大きく劣化し、信号の伝送が不可能となる。

【0003】また、信号伝送帯域の外側において自然放出光成分が急上昇する現象を生じることが知られてお

り、この現象によっても、信号帯域が制限され、光 SNR が劣化する。

【0004】これらの問題に対応するため、希土類添加ファイバ自体の利得スペクトルを広い信号光波長域で平坦化しようとする試みがなされている。以下では、希土類添加ファイバ増幅器のうち一般に広く使われている

1. 5 ミクロン帯エルビウムドープファイバ (EDF) 増幅器を例に説明する。例えば、Al (アルミニウム) 元素又は P (リン) 元素を添加された EDF、フッ化物 EDF 及びテルライト EDF を用いた光増幅器が提案されている。しかし、これらの EDF の利得平坦度は材料固有の特性に依っているので、ある程度の向上はあるものの、利得スペクトルを完全 (例えば 0.2 dB 以内) にフラットにすることは困難である。

【0005】利得スペクトルをよりフラットにする方法として、不要な自然放出光成分の通過を阻止するフィルタ、及び/又は、EDF の利得スペクトルと逆特性の透過スペクトルを有する利得等化器を希土類添加ファイバの後段に縦続接続して利得を等化する構成が提案されている (例えば、特開平 9-191303 号 (米国特許第 5912750 号))。そのための利得等化器としては、誘電体多層膜、長周期ファイバグレーティング、短周期ファイバグレーティング及び干渉計導波路等からなる各種のフィルタが提案されている。利得等化器の特性上の必要条件は、任意のフィルタ特性が実現できることに加えて、バックグラウンドロスが小さいこと、並びに偏光依存性損失 (PDL) 及び偏光モード分散 (PMD) が小さいことがある。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】従来の利得等化器は、増幅信号帯域の中で利得の大きい波長帯にロスを与えて増幅信号帯域の中で最も小さい利得に全帯域の利得を合わせる。従って、希土類添加ファイバの前段で利得等化を行うと、増幅前の信号の一部の帯域または全帯域に損失を与えることになり、光 SNR が劣化する。そこで、通常、利得等化器は光増幅器の後段に配置される。しかし、希土類添加ファイバの後段で利得等化を行う場合、利得の高い帯域の増幅後の大きな光パワーを除去することになり、励起効率が悪化する。2 段以上の光ファイバ増幅器を直列接続した多段式光増幅器の場合、利得等化器を各増幅器の間に置く形態を採用できるが、もともと多段式増幅器は単一増幅器に比べて構成が複雑であり、励起効率は低い。

【0007】更に、何れの利得等化器も希土類添加ファイバとは別の部品であり、双方を接続した場合の利得特性の平坦性を確保するには、双方の部品がそれぞれ設計値に一致する必要がある、製造上の大きな制約となる。

【0008】本発明は、これらの問題点を解決した光増幅器を提示することを目的とする。

【0009】本発明はまた、不要な自然放出光を除去

し、信号帯域において平坦な利得特性を有し、且つ励起効率の高い光増幅器を提示することを目的とする。

【0010】本発明は更には、出力光に不要な自然放出光を含まない光増幅器を提示することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明に係る光増幅器は、光増幅媒体と、当該光増幅媒体の少なくとも一部に形成され、周期的に屈折率の変化するグレーティングと、当該光増幅媒体を励起する励起光を発生する励起光源と、当該励起光源の出力する励起光を当該光増幅媒体に導入する励起光導入手段とを具備することを特徴とする。グレーティングにより不要な自然放出光を除去するので、信号帯域の利得特性を平坦化でき、しかも、励起効率を高めることができる。

【0012】グレーティングの透過損失波長帯は好ましくは、当該光増幅媒体から発生される自然放出光の所定波長帯を含む。これにより、グレーティングは、主として不要な自然放出光を除去でき、励起効率を高めることができる。

【0013】グレーティングが、光増幅媒体の増幅信号帯域において、光増幅媒体の利得の波長依存性を相殺する透過損失特性を具備することにより、信号帯域内の利得特性を平坦化できる。

【0014】好ましくはグレーティングが短周期グレーティングからなり、その周期的な屈折率変化の波面法線が当該光増幅媒体の光伝搬方向に対して傾斜する。これにより、反射光が光増幅媒体中を戻ることを防止できる。

【0015】好ましくは、グレーティングが当該光増幅媒体の軸方向で屈折率変動周期が変化するチャープトグレーティングからなる。これにより、光増幅媒体の信号帯域での利得特性をより一層、平坦化できる。

【0016】グレーティングはまた、長周期グレーティングでもよい。これにより、損失光はクラッドに放射される。

【0017】光増幅媒体がコアとクラッドを有し、グレーティングが光増幅媒体のコア及びクラッドにまたがって形成されていることにより、クラッドモードとの不要な結合を抑制できる。

【0018】光増幅媒体は例えば、希土類添加光ファイバからなる。

【0019】

【実施例】以下、図面を参照して、本発明の実施例を詳細に説明する。

【0020】図1は、本発明の一実施例の概略構成図を示す。10は光増幅媒体としてのエルビウムドープファイバ(EDF)であり、そのコアには1000ppmのエルビウムと2%のゲルマニウムが添加されている。EDF10の中間に、1.53 $\mu$ mに透過ロスのパークを持つグレーティング12が、位相マスクと紫外線レーザ

露光でEDF10のコアとクラッドにまたがるように形成されている。図2は、グレーティング12を形成した部分の、EDF10の縦断面図を示す。グレーティング12の作製には、H<sub>2</sub>などの感光剤に曝したGe添加ファイバに紫外レーザ光を照射すると、その照射部分の屈折率が上昇する現象を利用している。グレーティング12による反射光が逆方向に戻らずに、EDF10のコアから外部に放出されるように、グレーティング12の、周期的な屈折率変化の波面法線をEDF10内での光伝搬方向に対して傾斜させてある。

【0021】光増幅すべき信号光S(波長帯1.54 $\mu$ m乃至1.56 $\mu$ m)は、光アイソレータ14を低損失又は無損失で透過し、WDM光カップラ16を透過してEDF10に入射する。また、半導体レーザ18は波長0.98 $\mu$ m、60mWの励起光を出力する。レーザ18から出力される励起光は、WDM光カップラ16により、光増幅すべき信号光Sに合波され、信号光Sと共にEDF10に入射する。

【0022】EDF10内では、そのコアに添加されたエルビウムが0.98 $\mu$ mの励起光により励起され、信号光Sを光増幅する。グレーティング12は、EDF10内で発生する1.53 $\mu$ m帯の不要な自然放出光成分をEDF10のコアから外部に出力する。光増幅された信号光Sは、光アイソレータ20を低損失又は無損失で透過し、利得等化フィルタ22に入射する。利得等化フィルタ22は、EDF10及びグレーティング12の合成利得スペクトルとは逆の特性の透過スペクトルを有し、信号波長帯1.54-1.56 $\mu$ mで最終的な利得スペクトルを平坦化する。

【0023】図3は、従来例及び本実施例の利得スペクトルの比較図である。横軸は波長、縦軸は利得(又は損失)を示す。30は、グレーティング12を有しないEDFのみの利得スペクトルを示す。グレーティング12及び利得等化フィルタ22を有しないことを除いては、図1に示す構成と同じ構成及びパラメータからなる。32は、1.53 $\mu$ mに中心反射波長を有するグレーティング12の透過損失特性を示し、34は、EDF10を通過した後の利得スペクトルを示す。特性34は特性30に比べて、グレーティング12により1.53 $\mu$ m帯での急峻なピークが低く抑えられると同時に、1.54-1.56 $\mu$ m帯の利得が平坦化している。これは、光ファイバ増幅器全体の出力強度を一定に維持したまま、不要な自然放出光を増幅媒体10の中で除去したことにより、利得極大波長のパワーが利得極小波長の利得に分配された結果である。この結果、信号波長帯域1.54-1.56 $\mu$ mで最小の利得は3dB程度増加し、励起効率が改善された。

【0024】EDF10後の利得スペクトル特性34は、1.54-1.56 $\mu$ m帯で平坦化しているものの、完全ではなく、多段増幅によるセルフフィルタリン

グ効果に十分耐えるものではない。これを完全にフラットにするには、EDF 10の利得スペクトルと逆特性の透過スペクトルを有する利得等化フィルタ 22を縦続接続すればよい。その結果の特性を特性 36として図示してある。信号帯域の出力は利得極小波長の利得で制限されるので、特性 36として図示したように、本実施例の信号帯域の出力は、グレーティングを具備しない従来の光ファイバ増幅器に比べて 3 dB、増加する。

【0025】このように、不要な自然放出光を除去するためのグレーティングを増幅媒体中に具備することにより、信号帯域での利得が平坦化し、更に最小利得波長での利得が増大する。その結果、後段で利得等化を行ったときの信号光出力が増大する。

【0026】図 4は、本発明の第 2実施例の概略構成ブロック図を示す。110は光増幅媒体としてのエルビウムドープファイバ (EDF) であり、そのコアには 1000 ppm のエルビウムと 2% のゲルマニウムが添加されている。EDF 110の中間に、1.525  $\mu$ m から 1.565  $\mu$ m までの波長帯域で、EDF 110のみの場合の利得スペクトルに対して逆の特性になる透過スペクトルを有するチャープグレーティング 112が形成されている。チャープグレーティング 112のグレーティング周期は、例えば、信号光 S の入射側で長くし、出射側で短くなるように連続に変化する。グレーティング 112による反射光が逆方向に戻らずに、EDF 110のコアから外部に放出されるように、グレーティング 112は、EDF 110の光軸方向に対して斜めに形成されている。また、図 1に示す実施例と同様に、グレーティング 112は EDF 110のコアとクラッドの両方にまたがって形成されている。

【0027】光増幅すべき信号光 S (波長帯 1.54  $\mu$ m 乃至 1.56  $\mu$ m) は、光アイソレータ 114を低損失又は無損失で透過し、WDM 光カップラ 116を透過して EDF 110に入射する。また、半導体レーザ 118は波長 0.98  $\mu$ m、60 mW の励起光を出力する。レーザ 118から出力される励起光は、WDM 光カップラ 116により、光増幅すべき信号光 S に合波され、信号光 S と共に EDF 110に入射する。

【0028】EDF 110内では、そのコアに添加されたエルビウムが 0.98  $\mu$ m の励起光により励起され、信号光 S を光増幅する。光増幅された信号光 S は、光アイソレータ 120を低損失又は無損失で透過し、外部に出力される。チャープグレーティング 112が EDF 110内で発生する不要な自然放出光及び相対的に利得の高い波長帯の信号光 S の一部をその EDF 110のコアから外部に放射する。

【0029】図 5は、従来例及び図 4に示す実施例の利得スペクトルの比較図である。横軸は波長、縦軸は利得 (又は損失) を示す。122は、グレーティング 12を有しないことを除いては、図 4に示す構成と同じ構成及

びパラメータからなる従来例の利得スペクトルを示し、124は図 4に示す実施例の利得スペクトルを示す。126は、チャープグレーティング 112の透過損失特性を示す。特性 124から分かるように、1.535  $\mu$ m から 1.56  $\mu$ m の 25 nm の帯域において利得の偏差が 0.2 dB 以下の平坦性が実現できた。

【0030】チャープグレーティング 112は、グレーティング 12と同様に、位相マスクを用いた紫外レーザ露光法で形成できる。露光量によりグレーティングの屈折率変化の振幅が変わるので、これにより反射率を制御できる。また、反射波長はグレーティング周期に対応するので、チャープグレーティング 112の長手方向のグレーティングの屈折率変化の振幅を制御することで、チャープグレーティング 112の透過損失の波長特性を微細に調整できる。半導体レーザ 118の出力光を EDF 110に導入した状態で、信号光に相当する波長帯域を有する ASE 光を EDF 110に入力し、光アイソレータ 120からの出力光のスペクトルをモニタしつつ、チャープグレーティング 112を形成することで、所望の利得特性を正確に且つ容易に得ることが出来る。

【0031】図 4に示す実施例では、チャープグレーティング 112により、1.53  $\mu$ m 付近の自然放出光に起因する利得の急峻なピークを低く抑えることができるだけでなく、1.535-1.56  $\mu$ m の 25 nm の波長域で利得の偏差が 0.2 dB 以下の平坦化を実現できた。これは、光ファイバ増幅器全体の出力強度を一定に維持したままで不要な自然放出光を増幅媒体から外に放出したので、利得極大波長のパワーが利得極小波長の利得に分配されたことと、信号波長帯域における比較的小さな利得変動に対してチャープグレーティング 112の損失特性を制御したことによる結果である。グレーティングのない EDF の後段に利得等化器を接続する従来例に比べて、図 4に示す実施例では、信号波長帯 1.54-1.56  $\mu$ m の利得が 4 dB 増加する。

【0032】図 4に示す実施例では、光ファイバ増幅器自体が利得等化機能を具備するので、外部の利得等化器を必要としなくなり、構成が簡単になる。更に、従来例では利得等化器と EDF とが別の部品からなるので、双方を接続した場合の利得特性の平坦性を確保するために、双方の部品がそれぞれ設計値に一致するものになっている必要がある。これが製造上の大きな制約となっていた。しかし、本実施例では、トータルの利得特性をモニタし、適切なものになるように調整しながら製造できるので、極めて平坦な利得特性を持つ光ファイバ増幅器を容易に製造できる。

【0033】図 6は、本発明の第 3実施例の概略構成ブロック図を示す。図 4に示す実施例におけるチャープグレーティング 112の代わりに、長周期グレーティング 130を EDF 110の中間に形成した。グレーティ

ング130は、具体的には、1.53 $\mu$ m付近の自然放出光に起因する利得ピーク並びに1.545 $\mu$ m及び1.555 $\mu$ m付近の利得ピークに対応するロスを有する縦属接続された3つの長周期グレーティング素子からなる。図1及び図4に示す実施例と同様に、グレーティング130はEDF110のコアとクラッドの両方にまたがって形成されている。

【0034】長周期グレーティング130は、EDF110のコアを伝搬する光の内、その周期により規定される波長成分をクラッドモードに変換してEDF110の外部に放出する。グレーティング130のこの作用により、1.53 $\mu$ m付近の自然放出光に起因する利得の急峻なピークを抑圧できると同時に、1.535-1.56 $\mu$ mの25nmの波長域で利得の偏差を0.2dB以下に平坦化できた。第2実施例と同様に、1.54-1.56 $\mu$ mの信号波長帯の利得が増加した。この実施例でも、トータルの利得特性をモニタし、適切なものになるように調整しながら製造できるので、極めて平坦な利得特性を持つ光ファイバ増幅器を容易に製造できる。

【0035】以上の各実施例では、増幅媒体である希土類添加光ファイバとして1.5 $\mu$ m帯で広く用いられているエルビウムドープ石英系光ファイバを使用した。1.3 $\mu$ mプラセオジウムドープ光ファイバ等の他の希土類添加光ファイバでも同様の効果がある。また、フッ化物ファイバ及びテルライトファイバ等の石英以外の光ファイバでも同様の効果があることはいうまでもない。

【0036】ドーパントとしては、エルビウム以外の希土類物質を利用できる。例えば、Al又はP等を添加することで、増幅媒体自体の利得特性を平坦にすることができるので、これを併用してもよい。

【0037】

【発明の効果】以上の説明から容易に理解できるように、本発明では、信号帯域で平坦な利得特性を有する光増幅器を実現でき、励起効率の高い光増幅器を実現でき

る。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1実施例の概略構成図である。

【図2】 EDF10の縦断面図である。

【図3】 従来例及び第1実施例の利得スペクトルを示す図である。

【図4】 本発明の第2実施例の概略構成図である。

【図5】 第2実施例の利得スペクトルを示す図である。

【図6】 本発明の第3実施例の概略構成図である。

【符号の説明】

10：エルビウムドープファイバ（EDF）

12：グレーティング

14：光アイソレータ

16：WDM光カップラ

18：半導体レーザ

20：光アイソレータ

22：利得等化フィルタ

30：グレーティングを有しないEDFのみの利得スペクトル

32：グレーティング12の透過損失特性

34：EDF10を通過した後の利得スペクトル

36：利得等化フィルタ22後の利得スペクトル

110：エルビウムドープファイバ（EDF）

112：チャープトグレーティング

114：光アイソレータ

116：WDM光カップラ

118：半導体レーザ

120：光アイソレータ

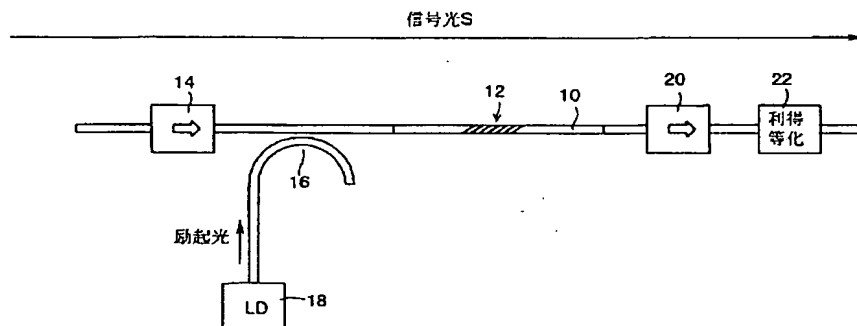
122：従来例の利得スペクトル

124：図4に示す実施例の利得スペクトル

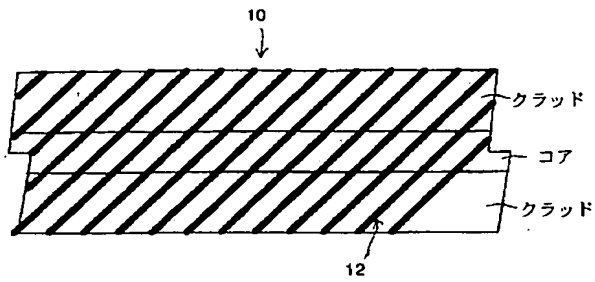
126：チャープトグレーティング112の透過損失特性

130：長周期グレーティング

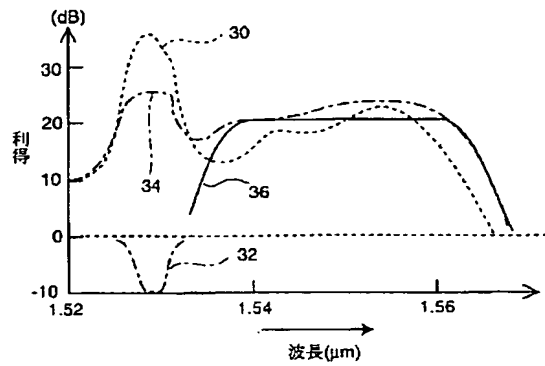
【図1】



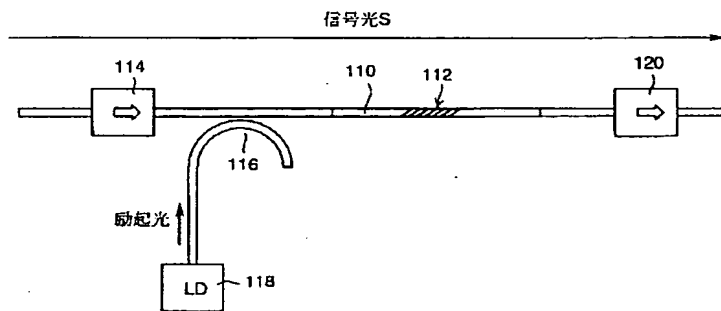
【図 2】



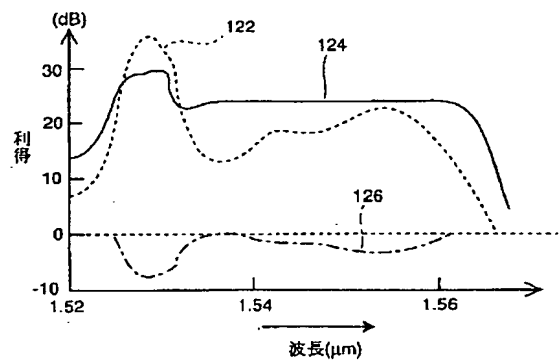
【図 3】



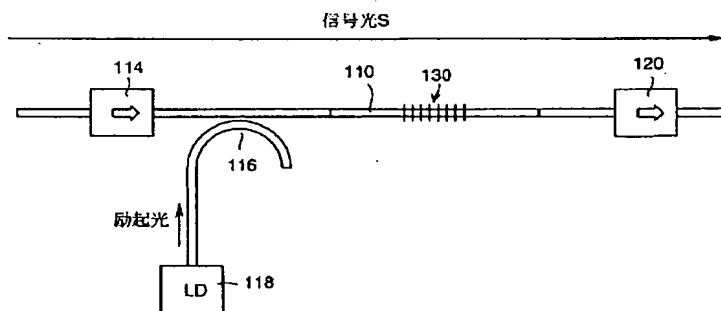
【図 4】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H049 AA33 AA59 AA62 AA66  
5F072 AB09 AK06 JJ20 KK07 PP07  
RR01 YY17

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: \_\_\_\_\_**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**